

## МОРФОЛОГИЯ, ТАКСОНОМИЯ И ЭКОЛОГИЯ *NAVICULA PHYLLEPTA* (BACILLARIOPHYTA)

С. И. Генкал<sup>1,\*</sup>, В. А. Габышев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН,  
152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н; e-mail: \*genkal47@mail.ru

<sup>2</sup> Государственный природный заповедник “Усть-Ленский”,  
678400 п. Тикси, Республика Саха (Якутия), Булунский район

Поступила в редакцию 28.02.2023

Изучение водорослей озер окрестностей Усть-Ленского заповедника с помощью сканирующей электронной микроскопии позволило получить новые сведения по морфологии ряда представителей рода *Navicula*: *N. phyllepta* и *N. phylleptosoma*. Выявлена более широкая изменчивость основных количественных (длина и ширина створки, число штрихов и ареол в 10 мкм) и качественных (строение шва) диагностических признаков. Показана конспецифичность этих двух видов. Предложено свести *N. phylleptosoma* в синониму к *N. phyllepta* и расширить диагноз последнего.

**Ключевые слова:** Усть-Ленский заповедник, Якутия, тундровые водоемы, фитопланктон, бентос, диатомовые водоросли, *Navicula phyllepta* и *N. phylleptosoma*, электронная микроскопия, морфология.

DOI: 10.47021/0320-3557-2023-17-24

### ВВЕДЕНИЕ

Вид *Navicula phyllepta* Kützing описан в 1844 году (Kützing, 1844) и относится к редким видам для флоры России. Отмечен в водоемах и водотоках Крайнего Севера Западной Сибири [Генкал, Ярушина, 2018 (Genkal, Yarushina, 2018)] и Русской Арктики [Lange-Bertalot, Genkal, 1999; Генкал, Вехов, 2007 (Genkal, Vekhov, 2007)]. По мнению Lange-Bertalot [2001] *N. phyllepta* вероятно относится к космополитам и характерен для солоноватых вод, и известен для Европы [Krammer, Lange-Bertalot, 1986; Lange-Bertalot, 2001; Lange-Bertalot et al., 2017]. Позднее по материалам из водоемов Русской Арктики был

описан сходный по морфологии и экологии вид *N. phylleptosoma* Lange-Bertalot, который отличается от *N. phyllepta* по ряду количественных и качественных признаков [Lange-Bertalot, Genkal, 1999]. При этом оба вида могут встречаться в одних и тех же водоемах и водотоках [Генкал, Ярушина, 2018 (Genkal, Yarushina, 2018)].

Цель исследования – изучение морфологической изменчивости редких для флоры России диатомовых водорослей *N. phyllepta* и *N. phylleptosoma*, уточнение их систематического положения и экологии.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом послужили шесть проб, отобранных из мелководных тундровых озер, расположенных на северной экспозиции склона Приморского кряжа, образующего участок побережья Моря Лаптевых Северного Ледовитого Океана (бухта Тикси и залив Неелова) (табл. 1). Отбор проб был выполнен в период

с 3 по 6 июля 2021 года. Материал фиксировался добавлением формалина. Освобождение створок диатомей от органического вещества проводили методом холодного сжигания [Балонов, 1975 (Balonov, 1975)]. Приготовленные препараты изучали в сканирующем электронном микроскопе JSM-6510LV.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Идентификация *N. phyllepta* и *N. phylleptosoma* в нашем материале вызвала определенные проблемы. Форма створки у этих видов сходная и согласно диагнозов у *N. phyllepta* створки ланцетные, концы остро закругленные, у крупных экземпляров ± удлиненные; у *N. phylleptosoma* – строго ланцетные, концы от умеренно острых до слегка тупо закругленных, иногда резко удлиненные (Lange-Bertalot, 2001, Pl. 46). Согласно диагнозам, по размерным признакам (длина и ширина створки) и числу ареол в 10 мкм штриха меж-

ду этими видами имеется четкий хиатус (табл. 2; [Lange-Bertalot, 2001]). Здесь следует отметить, что у представителей этого рода наблюдается значительная изменчивость количественных признаков и даже хорошо изученные виды при их исследовании из водоемов и водотоков разных по географическому положению и экологии показывают отклонения от известных диапазонов [Генкал и др., 2007, (Genkal et al., 2007); Генкал, 2014 (Genkal, 2014)]. По другим количественным признакам также имеются отличия. У *N. phyllepta* в отли-

чие от *N. phylleptosoma* осевое поле узкое, более широкое центральное поле, центральные поры расположены на большем расстоянии и они имеют другую форму (Lange-Bertalot,

2001, сравни Pl. 46, Fig. 9 и 18). На световых иллюстрациях этих двух видов заметной разницы в ширине осевого и центрального поля не наблюдается (Lange-Bertalot, 2001, Pl. 46).

**Таблица 1.** Альгологический материал и географические координаты пунктов отбора проб

**Table 1.** Algological material and geographical coordinates of sampling points

Дата отбора Selection date	Водоем (номер пробы) Reservoir (sample number)	Координаты пунктов отбора проб, ° Coordinates of sampling points, °	
		с.ш. / N	в.д. / E
03.07.2021	Озеро 2 (17) Lake 2 (17)	71.725193	128.64189
	Озеро 3 (2) Lake 3 (2)	71.736595	128.69375
04.07.2021	оз. Фигурное (15) Figurnoe Lake (15)	71.681182	128.61969
	Озеро 1 (18) Lake 1 (18)	71.669574	128.72409
	Озеро 10 (4*) Lake 10 (4*)	71.683665	128.60134
06.07.2021	Озеро 8 (12) Lake 8 (12)	71.554593	128.64756

**Примечание.** При отборе планктонных проб использовали сеть Апштейна (ткань SEFAR NITEX, диаметром ячеек 15 мкм). “\*” – проба отобрана путем смывания биопленки с поверхности погруженного в воду камня с использованием кисти.

**Note.** The Apstein network (SEFAR NITEX fabric with a cell diameter of 15 microns) was used in the selection of plankton samples. “\*” – the sample was taken by flushing the biofilm from the surface of the stone immersed in water using a brush.

**Таблица 2.** Диапазоны изменчивости количественных морфологических признаков исследованных видов рода *Navicula*

**Table 2.** Variability ranges of quantitative morphological characters of the studied species of the genus *Navicula*

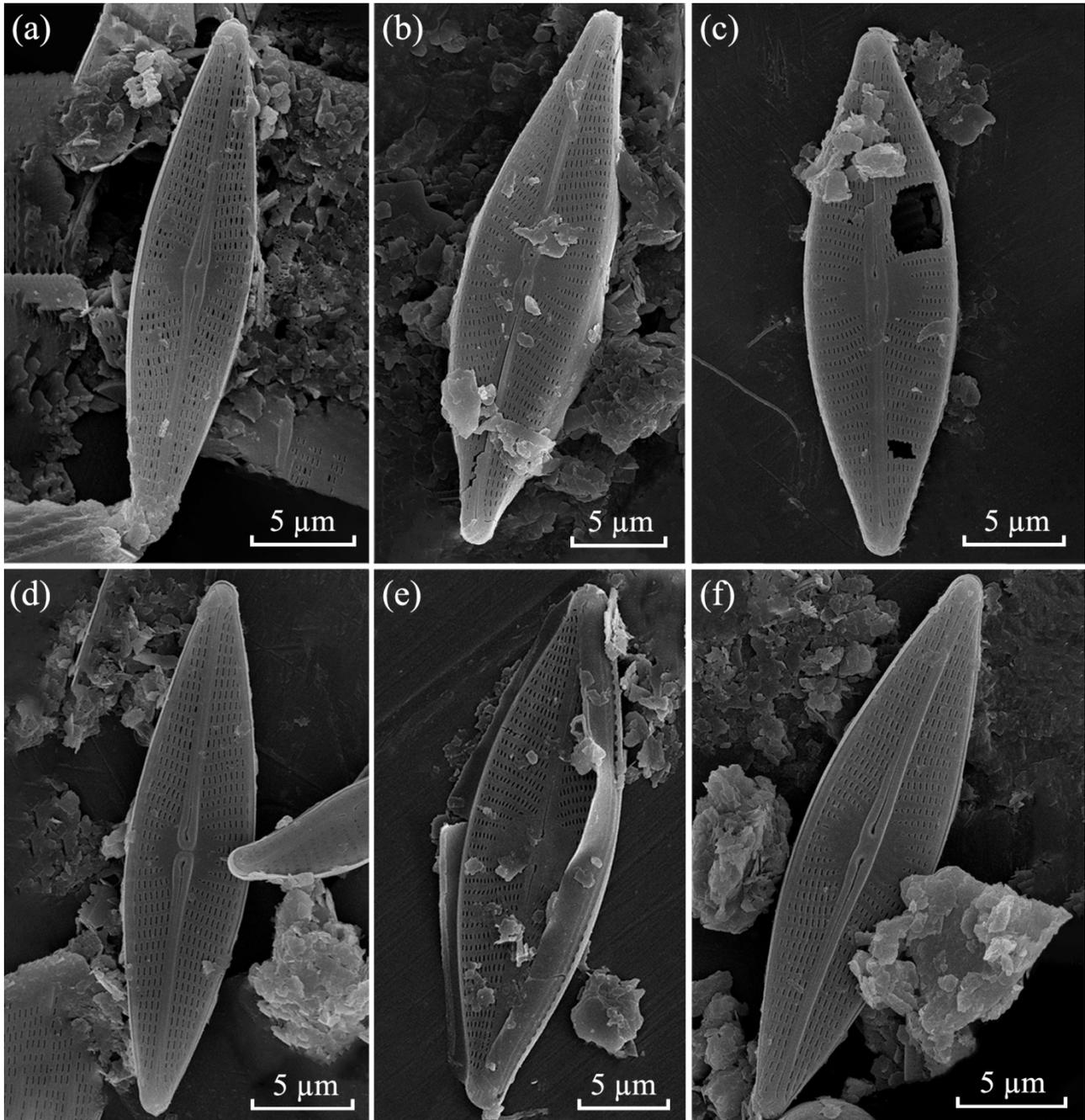
Длина створки, мкм Length of valve, μm	Ширина створки, мкм Width of valve, μm	Число штрихов в 10 мкм Number of striae in 10 μm	Число ареол в 10 мкм Number of areolae in 10 μm	Источник References
<i>N. phyllepta</i>				
12–45	4–8	14–20	<45	Krammer, Lange-Bertalot, 1986
25–46	6.6–8.5	17–20	34–36	Lange-Bertalot, 2001
27–40	7.5–8.0	13–18	35–36	Генкал, Вехов, 2007
25–46	6.6–8.5	17–20	34–36	Lange-Bertalot et al., 2017
16.4–30	6.8–8.3	14–16	35–40	Генкал, Ярушина, 2018
24.2–35.5	5.8–7.9	15–16	40	Наши данные
<i>N. phylleptosoma</i>				
15–26	4.7–6.6	17–20	40–45	Lange-Bertalot, Genkal, 1999
15–26	4.7–6.6	17–20	40–45	Lange-Bertalot, 2001
14.5–21.3	5.2–7.6	18–22	40–50	Генкал, Вехов, 2007
25–25.6	8.2–8.3	14	37–40	Генкал, Ярушина, 2018
14.4–28.2	4.1–6.8	15–22	35–50	Наши данные

На электронной микрофотографии *N. phyllepta* [Lange-Bertalot, 2001, Pl. 46, Fig. 9] по замерам ширина центрального поля равна 3.5 мкм, а у *N. phylleptosoma* [Lange-Bertalot,

2001, Pl. 46, Fig. 17] – 4 мкм, т.е. в данном случае – противоположная картина. Аналогично и расстояние между центральными порами: *N. phyllepta* [Lange-Bertalot, 2001, Pl. 46, Fig. 9]

– 0.9 мкм, *N. phylleptosoma* [Lange-Bertalot, 2001, Pl. 46, Fig. 18] – 1.1 мкм. Единственным надежным дифференциальным качественным признаком остается форма центральных пор – у *N. phyllepta* они на концах слегка расширены и в виде крючка загнуты в одну сторону [Lange-Bertalot, 2001, Pl. 46, Fig. 9], у *N. phylleptosoma* имеют форму слезы и лишь слегка загнуты в одну сторону [Lange-Bertalot, 2001, Pl. 46, Fig. 18]. С учетом вышеизложен-

ных аргументов мы при определении использовали в первую очередь именно этот признак. Форма центральных пор в нашем материале, типичная для *N. phyllepta* (рис. 1а) и *N. phylleptosoma* (рис. 2а), встречаются на створках разной формы (рис. 1а–е; рис. 2а–д, ф). При этом форма центральных пор типичная для *N. phyllepta* встречается на створках длиной меньше 25 мкм, а характерная для *N. phylleptosoma* – на створках более 26 мкм.



**Рис. 1.** Электронные микрофотографии створок *Navicula phyllepta* СЭМ). а–ф – створки с наружной поверхности.

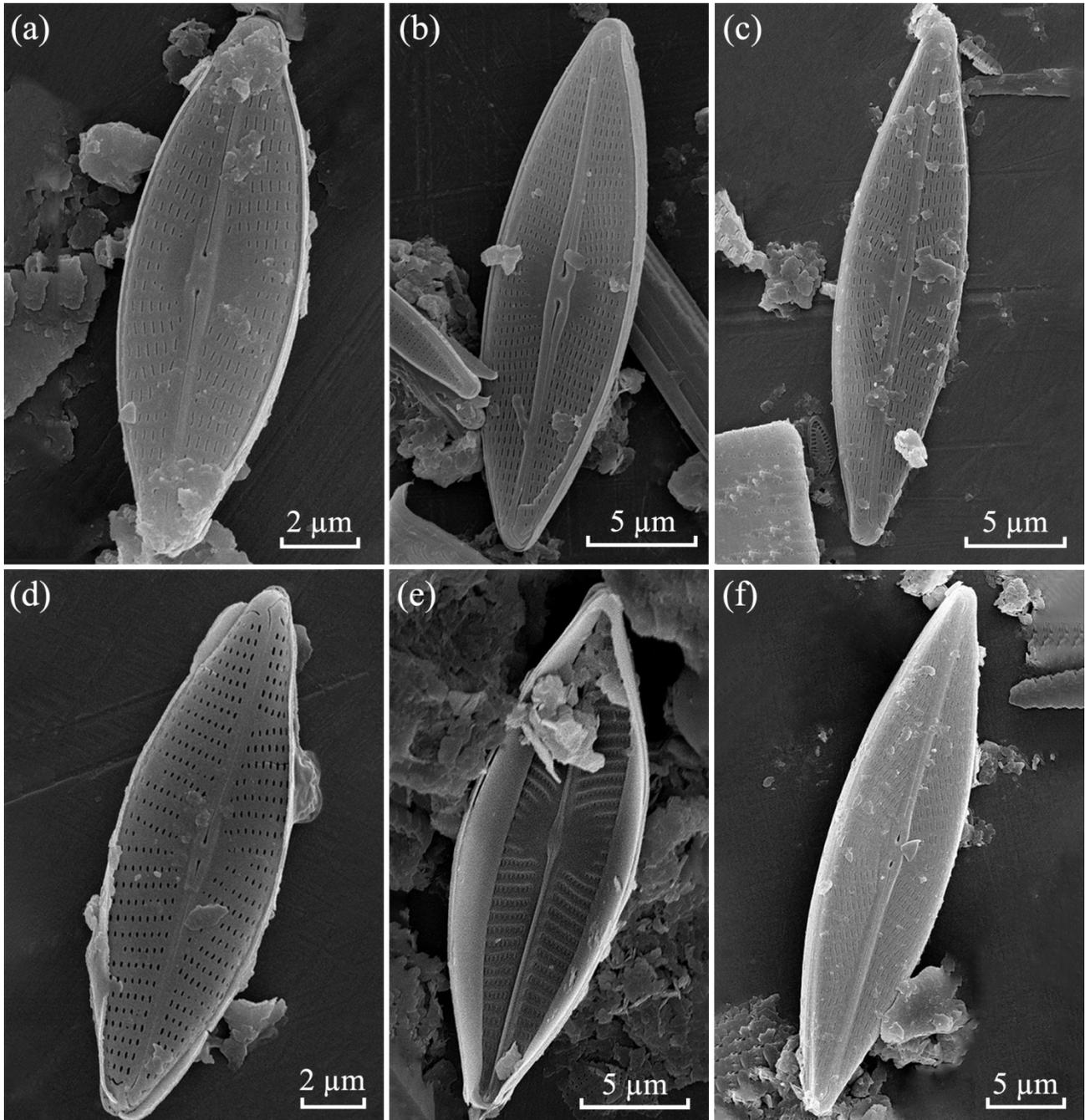
**Fig. 1.** Valves electron micrographs *Navicula phyllepta* (SEM). а–f – external view of the valve.

Здесь следует отметить, что на створках сходного вида *N. trivialis* Lange-Bertalot также встречаются центральные поры разной формы [Lange-Bertalot, 2001, Pl. 68, Fig. 1, 2]. На неко-

торых створках наблюдали переходную форму центральных выростов (рис. 1f) или очень маленькое центральное поле (рис. 2e). Интересная створка отмечена в 14 пробе (длина

36 мкм, ширина 8.3 мкм, штрихов 12 в 10 мкм, ареол 30 в 10 мкм), которая по форме створки и ее центрального поля, расположению штрихов и форме центральных пор имеет сходство с *N. phylleptosoma*. Однако, поскольку значения числа штрихов и ареол в 10 мкм достаточно сильно отличаются от наших и литературных данных, мы не стали относить ее к кругу форм *N. phyllepta* и *N. phylleptosoma*. По лите-

ратурным данным *N. phyllepta* и *N. phylleptosoma* характерны для солоноватых вод [Krammer, Lange-Bertalot, 1986; Lange-Bertalot, 2001; Lange-Bertalot et al., 2017], однако в нашем материале и согласно другим источникам [Генкал, Вехов, 2007 (Genkal, Vekhov, 2007); Генкал, Ярушина, 2018 (Genkal, Yarushina, 2018)] эти виды встречаются и в пресноводных водоемах и водотоках.



**Рис. 2.** Электронные микрофотографии створок *Navicula phylleptosoma* СЭМ). а–д, ф – створки с наружной поверхности; е – створка с внутренней поверхности.

**Fig. 2.** Valves electron micrographs *Navicula phylleptosoma* (SEM). а–д, ф – external view of the valve; е – internal view of the valve.

Наши и литературные данные показали более значительную изменчивость количест-

венных и качественных признаков у *N. phyllepta* и *N. phylleptosoma*, их перекры-

вание и совпадение, что свидетельствует о конспецифичности. С учетом времени описания предлагаем свести *N. phylleptosoma* в синонимику к *N. phyllepta* и расширить диагноз последнего.

*Navicula phyllepta* Kützing emend. Genkal (Fig. 1, 2).

Synonyms: *Navicula lanceolata* var. *phyllepta* (Kützing) Van Heurck 1885, *Navicula phylleptosoma* Lange-Bertalot 1999.

Valvae lanceolate, ends acutely rounded, in large specimens ± protracted, length 12–46 µm, breadth 4–8.5 µm. Raphe straight, filiform with distinct close central pores. Axial area very narrow, central area fairly variable in extent and outline, usually almost circular. Striae ± radiate, parallel to slightly convergent close to the end, poles, 14–22 in 10 µm, lineolae 34–50 in 10 µm. Outer raphe fissure lies in a noticeably strongly raised sternum. The central pores are hook-shaped or tear-shaped and slightly curved to the side.

Изучение популяций *N. phyllepta* из эстуарий с градиентом солености с использованием молекулярно-генетических методов выявило наличие двух псевдокриптических видов [Cre'ach et al, 2006; Vanelslander et al., 2009]. В первом случае это было сделано без морфологического анализа. Во втором отмечено, что определение вида проводили на основе световой микроскопии по иллюстрации лектотипа [Krammer, Lange-Bertalot, 1986, Fig. 32: 5]. Штаммы первого вида имели ширину 4.2–5.5 мкм, длину 11–22 мкм, число штрихов в 10 мкм 19.5–24. Штаммы второго вида имели ширину 5.5–7.5 мкм, длину 15–32 мкм, число штрихов в 10 мкм 16–20 [Vanelslander et al., 2009]. По мнению исследователей между этими видами имеется хороший хиатус при использовании комбинации двух признаков: ширины створки и числа штрихов в 10 мкм [Vanelslander et al., 2009]. Здесь следует отметить

несколько важных моментов. Определение проводилось только на основе световой микроскопии (форма створки, расположение штрихов) без учета других важных признаков (ширина осевого и центрального поля, расстояние между центральными порами, форма центральных пор). Морфология этих двух видов не была исследована с помощью электронной микроскопии (ультраструктурные признаки), и они не были оформлены номенклатурно с соответствующим описанием согласно кодексу ботанической номенклатуры. Мы изучали материал из пресноводных водоемов. Если распределить наши исследованные формы по ширине створки близкой к выделенной Vanelslander et al. [2009], числу штрихов в 10 мкм и длине створки, то получается следующая картина: первая группа (ширина 4.1–5.8 мкм, число штрихов в 10 мкм 16–22 и длина створки 4.1–26.2 мкм) и вторая (ширина 6.0–7.9 мкм, число штрихов в 10 мкм 15–18 и длина створки 19–35.5 мкм). Следовательно, четкого хиатуса по числу штрихов в 10 мкм не наблюдается. Следует отметить, что к первой группе относятся створки минимальной длины и в ней отмечены таковые с большими значениями числа штрихов в 10 мкм. Это соответствует известной закономерности для представителей этого рода – с увеличением длины створки наблюдается уменьшение числа штрихов в 10 мкм [Генкал и др., 2007 (Genkal et al., 2007)]. Аналогичная закономерность имеет место и среди представителей центральных диатомовых водорослей – с увеличением диаметра створки уменьшается число штрихов в 10 мкм [Генкал, 1983, 1984 (Genkal, 1983, 1984)]. Необходимо дальнейшее изучение популяций *N. phyllepta* с использованием методов световой и электронной микроскопии, а также проведение молекулярно-генетических исследований.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследована морфология редких для флоры России диатомовых водорослей рода *Navicula* – *N. phyllepta* и *N. phylleptosoma*. Выявлена широкая вариабельность количественных

и качественных диагностических признаков, что позволило свести *N. phylleptosoma* в синонимику, а также уточнить описание *N. phyllepta*.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках госзадания по темам № 121051100099-5 и № 1-22-81-4.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балонов И.М. Подготовка водорослей к электронной микроскопии // Методика изучения биогеоценозов. М.: Наука, 1975. С. 87–89.
- Генкал С.И. Закономерности изменчивости основных структурных элементов панциря у диатомовых водорослей рода *Cyclotella* Kütz. // Биология внутренних вод: Информ.бюл. 1983. № 61. С. 14–16.
- Генкал С.И. О морфологической изменчивости основных элементов створки у видов рода *Stephanodiscus* (Bacillariophyta) // Ботанический журнал. 1984. Т.68, № 3. С. 403–408.

- Генкал С.И. К вопросу о морфологической изменчивости некоторых широко распространенных и редких видов рода *Navicula* (Bacillariophyta) // Новости систематики низших растений. 2014. Т. 38. С. 38–49. <https://doi.org/10.31111/nsnr/2014.48.38>.
- Генкал С.И., Вехов Н.В. Диатомовые водоросли водоемов Русской Арктики. М.: Наука, 2007. 64 с.
- Генкал С.И., Ярушина М.И. Диатомовые водоросли слабоизученных водных экосистем Крайнего Севера Западной Сибири. М.: Научный мир, 2018. 212 с.
- Генкал С.И., Куликовский М.С., Стенина А.С. Изменчивость основных структурных элементов створки некоторых видов рода *Navicula* (Bacillariophyta) // Биология внутренних вод. 2007. № 2. С. 20–25.
- Cre'ach V., Anneliese Ernst A., Sabbe K., Vanelslander B., Vyverman W., Stal L.J. Using quantitative PCR to determine the distribution of a semicryptic benthic diatom, *Navicula phyllepta* (Bacillariophyceae) // Journal of Phycology. 2006. Vol. 42, № 5. P. 1142–1154. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2006.00268.x.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. Teil 1. Naviculaceae, in *Die Susswasserflora von Mitteleuropa*. Stuttgart: Gustav Fischer, 1986. Vol. 2/1. 876 p.
- Kützing F.T. Die Kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen. 1844. 152 p.
- Lange-Bertalot H. *Navicula* sensu stricto, 10 genera separated from *Navicula* sensu lato // Diatoms of Europe. 2001. Vol. 2. P. 5–526.
- Lange-Bertalot H., Genkal S. I. Diatoms of Siberia. I // *Iconographia Diatomologia*. 1999. Vol. 6. P. 7–272.
- Lange-Bertalot H., Hofmann G., Werum M., Cantonati M. Freshwater benthic diatoms of Central Europe. Schmitzen-Oberreifenberg. 2017. 942 p.
- Vanelslander B., Cre'ach V., Vanormelingen P., Ernst A., Chepurnov V.A., Sahan E., Gerard Muyzer G., Stal L.J., Vyverman W., Sabbe K. Ecological differentiation between sympatric pseudocryptic species in the estuarine benthic diatom *Navicula phyllepta* (Bacillariophyceae) // Journal of Phycology. 2009. Vol. 45, № 6. P. 1278–1289. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2009.00762.x.

## REFERENCES

- Balonov I.M. *Metody izucheniya biogeocenozov vnutrennikh vodoemov*. Podgotovka vodoroslej k elektronnoj mikroskopii [Preparation of algae for electron microscopy]. Moscow, Nauka, 1975, pp. 87–89. (In Russian)
- Cre'ach V., Anneliese Ernst A., Sabbe K., Vanelslander B., Vyverman W., Stal L.J. Using quantitative PCR to determine the distribution of a semicryptic benthic diatom, *Navicula phyllepta* (Bacillariophyceae). *Journal of Phycology*, 2006, vol. 42, no. 5, pp. 1142–1154. doi: 10.1111/j.1529-8817.2006.00268.x.
- Genkal S.I. On morphological variability of some widespread and rare species of the genus *Navicula* (Bacillariophyta). *Novosti sistematiki nizshikh rasteniy*, 2014, vol. 38, pp. 38–49. doi: 10.31111/nsnr/2014.48.38. (In Russian)
- Genkal S.I. On morphological variability of the main structural elements of the valve in the species of the genus *Stephanodiscus* (Bacillariophyta). *Bot. Zhurn.*, 1984, vol. 69, no. 3, pp. 403–408. (In Russian)
- Genkal S.I. Regularities in variability of the main structural elements in frustule diatom algae of the genus *Cyclotella* Kütz. *Biology of Inland Waters: Information Bulletin*, 1983, no. 61, pp. 14–16. (In Russian)
- Genkal S.I., Kulikovskiy M.S., Stenina A.S. Variability of main structural elements of a valve of some species of the genus *Navicula* (Bacillariophyta). *Biologiya vnutrennikh vod*, 2007, no. 2, pp. 20–25. (In Russian)
- Genkal S.I., Vekhov N.V. Diatomovye vodorosli vodoemov Russkoi Arktiki [Diatoms of water bodies of the Russian Arctic]. Moscow, Nauka, 2007. 64 p. (In Russian)
- Genkal S.I., Yarushina M.I. Diatomovye vodorosli slaboizuchennykh vodnykh ekosistem Kraynego Severa Zapadnoy Sibiri [Diatom algae of poorly studied aquatic ecosystem in the Far North of Western Siberia]. Moscow, Scientific World, 2018. 212 p. (In Russian)
- Krammer K., Lange-Bertalot H. Teil 1. Naviculaceae, in *Die Susswasserflora von Mitteleuropa*. Stuttgart, Gustav Fischer, 1986, vol. 2/1. 876 p.
- Kützing F.T. Die Kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen. 1844. 152 p.
- Lange-Bertalot H. *Navicula* sensu stricto, 10 genera separated from *Navicula* sensu lato. *Diatoms of Europe*, 2001, vol. 2, pp. 5–526.
- Lange-Bertalot H., Genkal S.I. Diatoms of Siberia. I. *Iconographia Diatomologia*, 1999, vol. 6, pp. 7–272.
- Lange-Bertalot H., Hofmann G., Werum M., Cantonati M. Freshwater benthic diatoms of Central Europe. Schmitzen-Oberreifenberg, 2017. 942 p.
- Vanelslander B., Cre'ach V., Vanormelingen P., Ernst A., Chepurnov V.A., Sahan E., Gerard Muyzer G., Stal L.J., Vyverman W., Sabbe K. Ecological differentiation between sympatric pseudocryptic species in the estuarine benthic diatom *Navicula phyllepta* (Bacillariophyceae). *Journal of Phycology*, 2009, vol. 45, no. 6, pp. 1278–1289. doi: 10.1111/j.1529-8817.2009.00762.x

**MORPHOLOGY, TAXONOMY AND ECOLOGY  
OF *NAVICULA PHYLLEPTA* (BACILLARIOPHYTA)**

**S. I. Genkal<sup>1,\*</sup>, V. A. Gabyshev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS,  
152742 Borok, Russia, e-mail: \*genkal@ibiw.ru

<sup>2</sup> Ust-Lensky State Nature Reserve,  
678400 Tiksi, Russia, e-mail: v.a.gabyshev@yandex.ru

Revised 28.02.2023

This scanning electron microscopical study of algae from lakes in the vicinity of the Ust-Lena Reserve made it possible to obtain new information on the morphology of a number of representatives of the genus *Navicula*: *N. phyllepta* and *N. phylleptosoma*. A wider variability of the main quantitative (valve length and width, the number of striae and areolae in 10 µm) and qualitative (structure of the raphe) diagnostic features as well as the conspecificity of the two species were shown. It is proposed to reduce *N. phylleptosoma* to synonymy of *N. phyllepta* and extend the diagnosis of the latter.

*Keywords:* Ust-Lena Nature Reserve, Yakutia, tundra reservoirs, phytoplankton, benthos, diatoms, *Navicula phyllepta* and *N. phylleptosoma*, electron microscopy, morphology